

Acquisition par la simulation des systèmes futurs de combat aéroterrestre

(Simulation-Based Acquisition of the Future Air-Land Combat System)

ICA Dominique LUZEAUX, Prof. / IPA Patrick LODEON

DGA/DSP/STTC

Complex System Engineering Department

8, boulevard Victor

00303 Armées

FRANCE

Phone: +33-1-40 59 17 03, Fax: +33-1-40 59 16 09,

Email : dominique.luzeaux@dga.defense.gouv.fr / patrick.lodeon@dga.defense.gouv.fr

RESUME

De nouveaux concepts pour le combat aéroterrestre ont été définis, basés sur une approche système de systèmes, et qui se fondent sur des avancées technologiques récentes, comme les robots ou les capteurs miniaturisés. Afin d'explorer les différents concepts et d'engager les phases de conception des principaux systèmes concernés, la simulation apparaît comme un outil critique de décision. L'objectif de cet article est d'une part d'exposer l'approche par simulation pour l'acquisition de ces nouveaux systèmes de systèmes, d'autre part d'en démontrer la rentabilité économique.

ABSTRACT

New concepts for the future air-land combat have been defined, which are based on a system of systems approach and take advantage on the recent technological advances such as robotic vehicles and miniaturized sensors or systems. In order to explore the various concepts and to start the feasibility and definition phase of the main systems addressed, simulation proves to be a critical tool. We discuss in this paper our simulation-based approach and prove on the way its cost-effectiveness.

1.0 LA BULLE OPERATIONNELLE AEROTERRESTRE

1.1 Évolution du contexte : vers une logique capacitaire

Le principe de la BOA (bulle opérationnelle aéroterrestre) a été défini par la DGA (Délégation Générale pour l'Armement), en liaison étroite avec l'Armée de Terre. Ce projet fait suite à la nouvelle démarche de conception des futurs armements français entamée depuis 1997.

L'approche traditionnelle par armée ne permettait pas de garantir, dans la durée, toutes les cohérences (opérationnelle, technique, organisationnelle, calendaire) nécessaires à l'efficacité du dispositif militaire. Ainsi la prospective de défense s'appuie sur une approche par systèmes de forces reposant sur une logique capacitaire : au lieu de faire évoluer linéairement des systèmes d'armes en fonction des avancées technologiques, une réflexion d'ensemble a conduit à repenser l'outil de défense en termes de capacités opérationnelles, lesquelles ne font apparaître qu'en second lieu les concepts systèmes qui sont réalisés par

Communication présentée lors de la Conférence NMSG RTO sur « Les partenariats NATO-PfP/Industrie/Nations dans le domaine de la modélisation », organisée à Paris, en France, les 24 et 25 octobre 2002, et publiée dans RTO-MP-094.

Report Documentation Page				Form Approved OMB No. 0704-0188	
Public reporting burden for the collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden, to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington VA 22202-4302. Respondents should be aware that notwithstanding any other provision of law, no person shall be subject to a penalty for failing to comply with a collection of information if it does not display a currently valid OMB control number.					
1. REPORT DATE 00 NOV 2003		2. REPORT TYPE N/A		3. DATES COVERED -	
4. TITLE AND SUBTITLE Acquisition par la simulation des systèmes futurs de combat aéroterrestre (Simulation-Based Acquisition of the Future Air-Land Combat System)				5a. CONTRACT NUMBER	
				5b. GRANT NUMBER	
				5c. PROGRAM ELEMENT NUMBER	
6. AUTHOR(S)				5d. PROJECT NUMBER	
				5e. TASK NUMBER	
				5f. WORK UNIT NUMBER	
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) DGA/DSP/STTC Complex System Engineering Department 8, boulevard Victor 00303 Armées FRANCE				8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER	
9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)				10. SPONSOR/MONITOR'S ACRONYM(S)	
				11. SPONSOR/MONITOR'S REPORT NUMBER(S)	
12. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Approved for public release, distribution unlimited					
13. SUPPLEMENTARY NOTES See also ADM001655., The original document contains color images.					
14. ABSTRACT					
15. SUBJECT TERMS					
16. SECURITY CLASSIFICATION OF:			17. LIMITATION OF ABSTRACT UU	18. NUMBER OF PAGES 31	19a. NAME OF RESPONSIBLE PERSON
a. REPORT unclassified	b. ABSTRACT unclassified	c. THIS PAGE unclassified			

différents systèmes d'armes, au sein de diverses organisations opérationnelles, dans le cadre de divers scénarii d'engagement.

Cette nouvelle logique ne construit donc pas l'outil de défense sur des matériels, des hommes et des doctrines préexistants, mais part au contraire d'une analyse des menaces et du besoin, pour en déduire des exigences fonctionnelles – les capacités, c'est-à-dire des systèmes de systèmes –, desquelles découlent les matériels, les hommes et les doctrines.

Comme on le verra ultérieurement, cette nouvelle démarche d'ingénierie du système de défense, qui se veut proactive et non plus au mieux réactive, nécessite aussi une nouvelle démarche d'acquisition.

1.2 Impact des conflits récents sur le combat aéroterrestre

Au vu des crises récentes (Liban, Koweït, Somalie, Bosnie, Kosovo...), plusieurs facteurs sont apparus déterminants pour les interventions aéroterrestres futures :

- l'amélioration de la protection des combattants (les armements ont une forte létalité et les crises se résolvent sous des contraintes de zéro mort ou tout au moins de pertes minimales, dont l'« acceptabilité » est essentiellement facteur de l'exploitation médiatique) ;
- le développement de la capacité de transport des combattants ;
- la multiplication des interventions en zones urbaines (cf. rapport du RTO group SAS30 « Urban Operations in the Year 2020 », diffusé en mai 2002) ;
- la variété des interventions (de la maîtrise de la violence à la coercition) ;
- la numérisation du champ de bataille (c'est une conséquence de l'omniprésence du numérique dans le civil et de l'intégration des nouvelles technologies de l'information dans les systèmes d'armes ; c'est aussi inévitable, suivant le principe de l'épée et de la cuirasse, les conflits asymétriques appelant l'utilisation de matériels de tous les jours, et requérant subséquemment leur neutralisation éventuelle).

Ainsi, les nouvelles caractéristiques des systèmes d'armes terrestres concernent :

- la capacité à combattre un adversaire au plus tôt, parfois au-delà de la vue directe ;
- la disponibilité de véhicules aisément transportables et fortement protégés ;
- une protection moins individuelle et plus globale (tant pour les hommes que pour les matériels) ;
- le développement d'armes neutralisant l'adversaire sans nécessairement le détruire ;
- la mise en place, sur des plates-formes automatisées (drones, robots terrestres) de certaines fonctions à risques importants pour l'homme (exemple : illumination laser de l'objectif afin de guider le tir) ;
- le développement des moyens de télécommunications (augmentation des débits de données en particulier), afin que ces différentes plates-formes puissent intervenir, en coopération, en temps réel (transmission d'images) ;
- la capacité à disposer d'une information complète sur la situation opérationnelle, en recoupant des informations provenant de capteurs terrestres (radars), aériens (avions, drones) ou spatiaux (satellites).

La BOA s'inscrit dans le système de forces « maîtrise du milieu aéroterrestre ». Constituée autour de véhicules blindés de masse réduite (18-25 tonnes), disposant de leur armement propre (exemples : canons, missiles), son efficacité reposera sur leur complémentarité de moyens qui fonctionneront en synergie.

Ainsi, par exemple, robots et drones de renseignement et de combat apporteront une capacité d'observation et d'intervention accrue, permettant la réponse la mieux adaptée à la menace détectée. Le principe essentiel est basé sur une mise en réseau des capteurs de tout type (exemples : imagerie visible ou infrarouge, radars) et des moyens d'intervention, afin que chacun bénéficie du partage de la situation tactique et en retour participe à son élaboration (compte-rendu de situation par exemple).

Le principe de la BOA repose donc sur l'action combinée d'un ensemble d'entités (hommes, véhicules, robots, drones) qui doivent pouvoir à la fois communiquer, observer, renseigner et agir. Le cycle « observation – décision – action » doit être extrêmement bref ; il requiert en particulier :

- des communications à débits importants,
- une architecture en réseau des capteurs,
- une fédération des capteurs de renseignement,
- une intégration forte du facteur humain dans le système d'information.

Des communications à débits importants : la nouvelle génération de moyens de communication doit être capable de transmettre jusqu'à 1 Mbits/s d'informations multimédia de qualité de service différente (voix, image, données, messages prioritaires, ordres temps réel) entre les capteurs, systèmes d'information et systèmes d'armes.

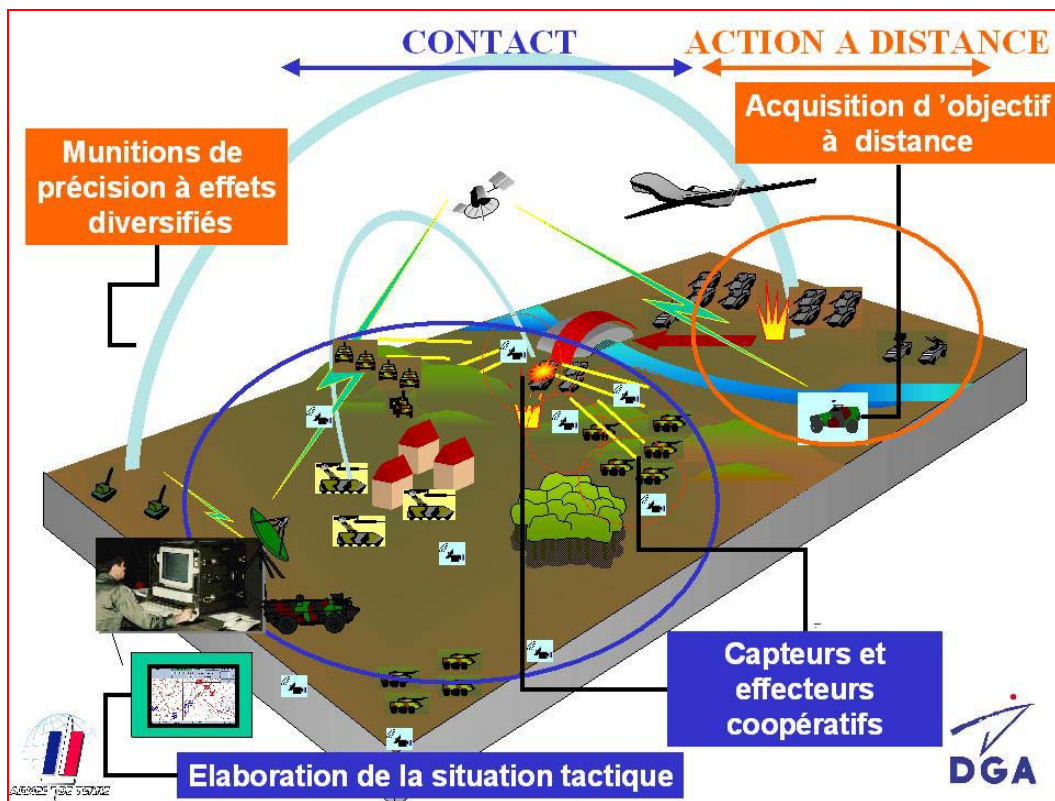
Comparables en termes de performances aux futurs radiocellulaires (MTS), ils devront de plus offrir des portées de 10 à 20 kilomètres, des délais de mise en œuvre et une résistance aux environnements électromagnétiques denses et agressifs compatibles avec des déploiements tactiques et une utilisation en zone urbaine.

Ces capacités permettront par exemple de récupérer les images vidéo acquises par les robots militaires terrestres pour les commander à distance plus efficacement.

Une architecture en réseau des capteurs : les réseaux sans fil mobiles tactiques répondent au concept de numérisation de l'espace de bataille et ils marquent le passage d'une gestion centralisée vers une organisation en réseau des armées (capteurs et systèmes d'armes). Les systèmes de capteurs mobiles et de systèmes d'armes, situés sur des plates-formes distinctes, seront reliés par un réseau de télécommunication à haut débit.

L'enjeu de ce type d'architecture est d'offrir une capacité plus rapide d'obtention, de traitement et de transfert d'information. Sur le plan technique, cette architecture de type réseau maillé doit s'adapter aux modifications de topologies en gérant l'initialisation du réseau, les problématiques de relais, la prise en compte de nouveaux entrants, la mobilité des entités connectées, la destruction d'un nœud...

Ces exigences ont été ou sont en cours de développement par le monde civil et l'adéquation des développements civils aux besoins militaires est à l'étude.



La fédération des capteurs de renseignement : dotée de capacités de recueil du renseignement performantes, l'Armée de Terre doit maintenant acquérir la capacité de couvrir l'ensemble du cycle de renseignement qui va de la demande jusqu'à la diffusion de ce renseignement. Dans la continuité du principe de mise en réseau des capteurs de tout type, ceci contribue à la fois à la conduite de la manœuvre des capteurs et à la diffusion des données sur l'adversaire, et cela à l'ensemble des acteurs et à un rythme compatible avec le tempo de la manœuvre.

En termes de fonctions à offrir, sont couvertes la planification du renseignement, l'optimisation de la conduite de la recherche et du recueil des données, l'exploitation et la diffusion du renseignement, et en final la contribution à l'élaboration de la situation tactique.

L'intégration forte du facteur humain dans le système d'information : les contraintes de réactivité pour l'opérateur nécessitent une automatisation maîtrisée des fonctions, d'où des problématiques de fusion de données, d'ergonomie et d'outils d'aide à la décision. On envisage par exemple de reconstituer un environnement à 3 dimensions à partir de capteurs hétérogènes et de le présenter soit sur un écran standard soit en mode immersif (par exemple via des lunettes de réalité virtuelle). La visualisation de l'espace en 3 dimensions facilite non seulement l'analyse de la situation opérationnelle, mais également la prise de décision par l'opérateur.

L'aspect facteur humain avec de nouveaux modes de pilotage des systèmes d'information (gants sensitifs, voix, gestes...) offre de nouvelles possibilités pour alléger la tâche des opérateurs humains, mais complexifie du point de vue système les interfaces et les contraintes d'intégration.

Les équipages restreints au sein de la BOA devront savoir traiter un flux très dense d'informations et un grand nombre de tâches variées. Les outils d'aide à la décision serviront à dégager des règles d'automatisation des traitements, de fusion de données et de présentation de l'information décisionnelle (indicateurs d'alerte, gestion des conflits, analyse des capacités opérationnelles...).

1.3 De l'innovation technologique à une vision globale du champ de bataille

Outre ces aspects de mise en œuvre de systèmes autonomes, de moyens d'observation et de communication, il faut aussi aborder les aspects de protection, mobilité et puissance de feu. Ceci conduit à repenser le système blindé, tant au niveau de son architecture technologique que de ses conditions d'emploi.

Le concept système actuellement à l'étude est celui de l'EBRC (engin blindé à roues de contact). Il assurera en 2011 des missions de reconnaissance et de combat : il sera le premier système d'armes issu du concept de bulle opérationnelle aéroterrestre. Les blindés légers de la génération précédente (AMX 10 RC par exemple) ne pouvaient combattre que l'adversaire qu'ils voyaient (avec leur propre viseur) et ne possédaient que leur seul canon (105 mm). Par ailleurs ils bénéficiaient d'une protection résultat d'un compromis entre mobilité et masse d'un blindage.

En comparaison, l'EBRC recevra des informations transmises par des capteurs déportés (robots, drones), lui permettant ainsi de combattre l'adversaire au plus tôt (au-delà de la vue directe) avec des moyens variés (canon, missile, éventuellement armes à énergie dirigée). Sa protection balistique pourra être complétée par des moyens de protection réactives, capables de détruire avant impact la munition adverse.

Afin de définir la répartition des fonctions entre véhicule blindé, drone ou robot, et de préciser le niveau technologique minimum à atteindre dans chacun des grands domaines techniques (protection, armes et munitions, mobilité, discrétion...) une approche système doit être conduite. Elle constitue une démarche indispensable et urgente pour pouvoir déterminer au plus tôt les compromis, financièrement raisonnables, techniquement réalisables et opérationnellement acceptables dans les délais impartis.

Si l'EBRC sert de moyen fédérateur à la constitution de la bulle de combat de contact BOA, celle-ci sera complétée par des modernisations des systèmes d'armes actuels (blindés actuellement en services, hélicoptères de combat, équipements de fantassins) et des mises en service de systèmes en cours de conception ou de réalisation (drones, systèmes d'information et de communication...) ainsi que d'autres nouveaux systèmes (robots...).

L'architecture globale de la BOA (vue comme un système de systèmes) doit donc intégrer certaines contraintes sur ces systèmes, et réciproquement les divers systèmes à mettre à hauteur ou à concevoir subissent des contraintes d'intégration horizontale et verticale.

Afin de relever l'ensemble de ces défis et de permettre à l'Armée de Terre d'assurer ses missions dans le contexte des années à venir, une démarche globale d'exploration des concepts au niveau système de systèmes, puis de conception, a été engagée. Elle repose essentiellement sur un processus de « simulation pour l'acquisition », étroitement intégré au processus d'ingénierie système de la BOA, seule solution pour garantir au juste coût la supériorité des futurs systèmes d'armes terrestres, qui ne dépend pas seulement de la performance individuelle des différentes solutions technologiques envisagées, mais surtout de leur association cohérente et réaliste.

2.0 INGENIERIE DES SYSTEMES ET SIMULATION POUR L'ACQUISITION

Avant de poursuivre, quelques définitions usuelles, extraites des référentiels normatifs largement utilisés au sein des équipes internationales de maîtrise d'ouvrage de systèmes, s'avèrent utiles, *système complexe, ingénierie de systèmes, modèle, simulation* :

- pour simplifier et au risque de déclencher des querelles d'école (entre structuralistes, fonctionnalistes, réductionnistes, comportementalistes...), disons qu'un **système** est un ensemble intégré d'éléments différents connectés et reliés entre eux, en vue de satisfaire un certain objectif [ISO-12207, EIA-632, CMMI] ;

- la **complexité** apparaît du fait tant de la nature (topologique et dynamique) de ces connexions et liaisons, que de la qualité intrinsèque des composantes ;
- l'**ingénierie système** est une approche interdisciplinaire rendant possible la transformation d'un besoin en une solution système [CMMI], et permettant de dériver, faire évoluer et vérifier la solution système sur l'ensemble de son cycle de vie en vue de la satisfaction client [IEEE 1220-1994] ;
- la notion de **modèle** est assez claire pour tout le monde, à savoir une approximation, une représentation ou une idéalisation, de la structure, du comportement ou d'autres caractéristiques de la réalité, qu'il s'agisse d'un phénomène physique, d'un système ou d'un processus [IEEE 610.12-1990] ;
- par contre, la notion de **simulation** souffre de polysémie : elle recouvre en effet tant les activités de réalisation de modèles que celles de mise en œuvre de modèles en vue d'un objectif donné. Il apparaît que la simulation permet de reproduire les caractéristiques de l'environnement, des systèmes et de certains comportements. Outre ce côté *descriptif*, elle permet de *contrôler* des conditions et des situations, et donc d'*expérimenter* et d'*évaluer* des solutions. Évidemment cela se fait avec une souplesse, une sécurité et un niveau de coût que n'offrent pas les expérimentations réelles. La simulation apporte donc une aide précieuse entre autres sur le plan des doctrines d'emploi et de mise en œuvre des forces, et en parallèle sur le plan des équipements.

2.1 Adaptation des méthodes d'acquisition à l'évolution du contexte

L'ingénierie des systèmes complexes s'inscrit dans un contexte marqué par les grandes caractéristiques suivantes :

- les systèmes de Défense sont de plus en plus complexes, car intégrant davantage de composantes, hétérogènes et de durées de vie très disparates. De fréquentes rénovations suite à l'obsolescence des sous-systèmes, construits de plus en plus sur des technologies civiles, nécessitent de maîtriser les architectures a priori de systèmes dont on ne connaît pas les configurations de composants. La **réduction des risques** dans les différentes phases d'un programme d'armement (en amont de la faisabilité jusqu'à la mise en service, voire au retrait avec la prise en compte croissante de contraintes environnementales) devient alors un enjeu essentiel pour la **maîtrise des coûts** tout au long de la vie du programme ;
- la prise en compte de menaces nouvelles (post-guerre froide ou opérations autres que la guerre) nécessite une flexibilité et une réactivité importantes dans l'exploration des concepts de systèmes de Défense. Cette **évolutivité** de l'environnement et la nécessaire capacité du système à **s'adapter** à ces différentes évolutions contribuent à sa complexité ;
- l'évolution vers une logique capacitaire de l'outil de Défense oriente le processus d'acquisition vers la prise en compte de systèmes de systèmes. Ceci pose encore plus nettement les problématiques de l'**intégration**, de la **mise en cohérence** et de l'**interopérabilité** d'un système dans un système de niveau supérieur ;
- le contexte politique avec la réduction des budgets de Défense, la construction de l'Europe et l'internationalisation des forces de réaction aux crises requièrent une maîtrise des coûts d'acquisition, ainsi que des développements partagés entre partenaires. La **réutilisation** prend alors toute sa mesure.

Il est clair que dans le contexte concurrentiel mondial actuel, il est de plus en plus important de développer et de produire des systèmes robustes, fiables et de haute qualité, qui répondent de façon satisfaisante aux besoins de l'utilisateur final et soient économiques. Les ressources étant (malheureusement) nécessairement plus limitées que les désirs, il est plus important que jamais de disposer de pratiques

efficaces tant dans la conception et le développement de nouveaux systèmes que dans la réingénierie des systèmes existants.

C'est cette prise en compte de la *totalité du cycle de vie des systèmes* (permettant d'intégrer dans la conception des systèmes futurs la rénovation et mise à hauteur des systèmes préexistants) qui nous fait considérer l'ingénierie système sur la totalité du cycle de vie, et non seulement sur la partie réservée à la définition (i.e. le passage formalisé du besoin aux exigences fonctionnelles puis aux spécifications techniques détaillées). Évidemment cela va nous conduire à devoir prendre en compte les problématiques de *partage et transfert de responsabilité entre acteurs successifs* au cours du cycle de vie (maîtrise d'ouvrage et maîtres d'œuvre), et leur conséquence logique en termes de *propriété intellectuelle*.

Même si nous ne développerons pas ces points dans les paragraphes suivants, leur prise en compte a été essentielle pendant la phase de contractualisation de l'outil de simulation pour l'acquisition dont il sera question ultérieurement. L'ambition affichée est de *disposer d'un référentiel partagé entre maîtres d'ouvrage et d'œuvre dans les étapes de définition et, à l'opposé, de responsabiliser le maître d'œuvre pour le développement et le maintien en service*.

L'ingénierie système comprend donc les efforts techniques afin de faire en sorte que le système soit conçu, construit et exploité pour réaliser son objectif de la façon la plus économique possible, en termes de performances, coûts, délais et risques.

Si l'on se réfère aux référentiels normatifs d'ingénierie système, on s'aperçoit qu'ils s'inscrivent dans une démarche générale d'ingénierie concourante et de développement intégré, et reposent sur une *vision complète du cycle de vie*, sur une *approche descendante* qui considère le système dans son ensemble en accordant une attention toute particulière à *l'expression initiale des exigences*, à la définition des *objectifs* et des *critères d'évaluation*, et sur une approche *d'équipe pluridisciplinaire*. Les principes suivants en sont les briques de base :

- appliquer une approche de conception hiérarchique descendante ;
- vérifier la conformité aux spécifications par une intégration et des essais ascendants ;
- mettre en œuvre l'ingénierie système suivant un développement du cycle de vie précis ;
- réaliser, dès le début, des plannings sur l'ensemble du cycle de vie en les basant sur les événements clés ;
- utiliser le travail d'équipe et les partenariats pluridisciplinaires ;
- réaliser des estimations et des mesures des progrès enregistrés à partir des performances ;
- contrôler l'évolution de la configuration ;
- réaliser des analyses technico-économiques sur les compromis envisagés ;
- identifier et résoudre les « contradictions d'ingénierie » ;
- utiliser les modèles et les outils assistés par ordinateur appropriés ;
- conserver une approche utilisateur.

Vérification, validation et traçabilité (des alternatives et des décisions) sont les étapes incontournables de tous les *rebouclages successifs*.

À l'inverse de l'approche analytique qui dissocie, partage, décompose, la logique systémique associe, rassemble, considère les éléments dans leur ensemble les uns vis-à-vis des autres, et dans leur rapport à l'ensemble. Dans des regroupements d'éléments, où la logique de groupe constitué prime sur celle de chaque élément qui le compose, ce qui est typiquement le cas des métasystèmes que nous considérons,

un renversement de perspective s'impose. En effet, on part du constat que d'une part la complexité des systèmes et de leur agencement est telle que l'on n'arrive pas de manière séquentielle et cartésienne à les appréhender complètement, et que d'autre part le contexte environnemental a priori extérieur au(x) système(s) a une influence manifeste et non facilement prédictible sur les comportements locaux des éléments et le comportement global de l'agencement. Face à ce constat, l'acte de foi requis est un renversement de perspective qui consiste à accorder la prééminence aux liaisons entre éléments, donc à adopter un point de vue relationnel en lieu d'une décomposition élémentaire, et à se focaliser sur le contrôle de ces liaisons en vue de satisfaire l'objectif.

Un des atouts d'une démarche d'ingénierie système bien menée est de fournir les outils pour dépasser le simple stade de l'acte de foi ; en particulier, la simulation couplée étroitement à l'ingénierie système permet un rebouclage permanent au cours du cycle de vie, mettant en évidence d'une part ces rapports non immédiatement explicitables entre les liaisons incarnant les dépendances dynamiques et statiques et l'objectif, d'autre part les moyens de contrôle, éventuellement par tâtonnements et tentatives multiples suivant des paramétrages variés.

Aide à la décision et moyen de maîtriser la complexité, la simulation pour l'acquisition des systèmes devient alors incontournable.

2.2 La simulation pour l'acquisition : une vision cohérente de la vie du système

Réduction des coûts et délais d'acquisition sont les soucis majeurs des services de maîtrise d'ouvrage, car ils ont un impact immédiat sur le coût et la disponibilité des matériels. Leur maîtrise sur l'ensemble des phases du cycle de vie du système, ainsi que des éléments de niveau supérieur auxquels il s'intègre, est une condition sine qua non du déroulement nominal des programmes d'armement.

Reprenant la vie du système étape après étape, les apports principaux de la simulation se déclinent aux niveaux de :

- *la maîtrise du besoin :*
 - évaluation des concepts d'architecture globale,
 - analyse des compromis entre capacités opérationnelles, performances, coûts,
 - choix de l'architecture optimale du système,
- *la maîtrise des spécifications :*
 - démonstration de la faisabilité technique avant la réalisation,
 - détermination de l'organisation la plus adéquate pour le développement,
 - formulation de spécifications vérifiables,
- *la maîtrise de la réalisation :*
 - exploration des différentes options de fabrication pour optimiser le choix de la solution dans le respect des contraintes techniques de coûts et de délais,
- *la maîtrise des évolutions et l'intégration au niveau supérieur :*
 - assurance de la cohérence dans les diverses phases du cycle de vie du système,
 - garantie de réutilisation de partie ou globalité des composants et sous-systèmes au sein d'autres systèmes.

Les modèles et simulations développés lors des différentes phases sont certes différents, mais ils s'inscrivent dans une communauté, celle du système et plus généralement du métasystème. Ceci vaut pour la phase de préparation, avec les simulations souvent qualifiées de technico-opérationnelles, pour la phase de conception, où les simulations ont un caractère technico-fonctionnel, pour la phase de réalisation, où les

simulations sont cette fois a priori de responsabilité du maître d'œuvre et étudient les alternatives techniques de développement et prototypent la fabrication, pour la phase d'utilisation, où les simulations ont trait tant à l'entraînement qu'au soutien, et enfin pour le retrait de service, lequel met quelquefois en jeu des défis non négligeables en terme d'impact environnemental (pensons à la chute de la station orbitale Mir, ou au démontage des centrales nucléaires).

Ignorer cette communauté d'intérêts – et considérer donc une simulation comme un outil pratique mais ponctuel pour analyser un problème technique particulier sous différents angles d'approche – revient à tirer un trait sur une vision cohérente de la vie d'un système, et par là même est un obstacle à la réutilisation tant intra-système que inter-système. Avant de revenir sur ce point dans les analyses économiques à suivre, revenons sur ce qui vient d'être dit, et en particulier sur la communauté entre simulations technico-opérationnelles et techniques.

La frontière que beaucoup établissent entre simulations technico-opérationnelles et simulations techniques n'est, de notre point de vue, qu'une querelle de chapelles, visant à poser des impossibilités de principe pour tenter de défendre une spécificité qui leur est propre et devant justifier l'exception, en particulier vis-à-vis de l'intégration au sein d'équipes pluridisciplinaires et plus largement dans une vision globale de la vie du système avec partage des modèles et outils. En fait, dans une démarche de processus d'ingénierie système, il n'y a pas de place pour des frontières arbitraires et infranchissables ; c'est d'autant plus impensable pour un ensemble de systèmes qui sont à différents stades de leur cycle de vie !

L'argument fallacieux qui consiste à dire que, comme les modèles utilisés pour les différentes simulations et les diverses vues du système sont différents (car il faut simuler ni trop ni pas assez), il s'agit de métiers différents, est fondé sur une interprétation erronée de la notion de représentations diverses d'un même système : il présuppose en effet une hiérarchisation de type arborescente des représentations (respectivement technico-opérationnelles et techniques), où l'on va du plus simple au plus détaillé ; le problème évidemment posé est alors la détermination de la frontière entre niveaux de détail des modèles, afin de garantir une convergence (au sens d'une adéquation des résultats de simulation obtenus au réel). Ceci est manifestement difficile, voire impossible numériquement. Mais ce type de raisonnement est foncièrement biaisé et repose sur une conception analytique du système. Fidèle au renversement de perspective discuté précédemment, il convient de relier les différents niveaux de représentations par un mécanisme dit de « transformation naturelle » et non de « décomposition arborescente ». C'est d'ailleurs la notion mathématique s'imposant naturellement quand on adopte un point de vue relationnel : elle revient à être capable de définir des correspondances (des « morphismes ») entre composants de différentes représentations, sans exiger une inclusion entre niveaux, mais simplement en forçant la cohérence systématique des dépendances (ce principe de propagation fait alors remonter les structures locales jusqu'à l'architecture globale ; alors que dans la vision arborescente, la localité suffit). On n'est donc plus dans une logique où un système d'équations, que l'on considère comme représentant un « modèle plus fin », en remplace un autre de manière biunivoque, mais au contraire dans une logique de traçabilité des dépendances entre expressions du besoin, exigences fonctionnelles, implantation des fonctions sous forme d'ensembles de comportements, composants...

En fait, on s'aperçoit que la solution au paradoxe apparent vient là encore d'une nécessaire prise en compte de l'organisation relationnelle globale du métasystème !

2.3 Prémices d'une justification économique de la simulation pour l'acquisition

L'impact premier de la simulation pour l'acquisition au cours de l'ingénierie d'un système est *la marge de manœuvre en termes de coûts engagés à l'avance* par les décisions prises à chaque étape au cours du cycle de vie. En effet, la simulation permet d'embrasser un éventail plus large d'alternatives techniques, d'abord à un instant donné (donc au cours d'une phase particulière du cycle de vie), mais surtout sur une certaine

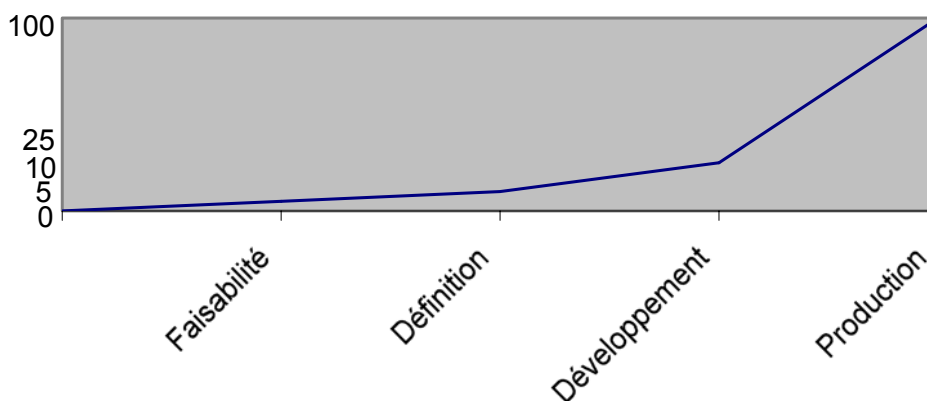
durée (ce qui permet de mener en parallèle plusieurs tronçons alternatifs du cycle de vie, et de mesurer en aval de la vie du système l'impact, en termes de performances ou de coûts, d'une décision prise en amont).

C'est cette liberté de manœuvre accrue qu'il va falloir comparer au surcoût engendré par le développement et l'intégration concourante des simulations. Pour cela, nous allons d'une part estimer ce surcoût relativement au coût complet de l'acquisition (de la conception à la réalisation) « traditionnelle » du système. Il est à noter que nous ne comptabilisons pas la phase d'utilisation du système, c'est-à-dire son exploitation et son soutien : en effet, le cumul des coûts récurrents au vu de la durée de vie de plusieurs décennies des systèmes de défense fausserait complètement toute analyse (le Department of Defense aux Etats-Unis estime la répartition relative en pourcentage entre acquisition, exploitation et soutien à 28, 12 et 60). D'autre part, nous allons quantifier la marge de manœuvre obtenue par la simulation pour l'acquisition, en considérant le cas de surcoût d'acquisition dû par exemple à un imprévu ou une erreur de planification.

Il est à noter que la discussion informelle précédente conçoit la simulation comme un processus intégré au cycle de vie du système à acquérir, dans la mesure où c'est la dimension diachronique qui est mise en avant. En effet, l'utilisation ponctuelle de la simulation va entraîner des économies très relatives, par exemple pour éviter le recours à une maquette ou un prototype. Mais rien ne garantit dans ce cas que la simulation n'engendre pas un surcoût net, soit de par son développement, soit de par sa validation. En effet, si l'utilisation de la simulation a été ponctuelle, il y a peu de chance qu'il y ait une validation disponible au service de l'équipe d'acquisition, car cela présuppose des processus de traçabilité et de capitalisation, qui sont justement les prémices d'une démarche de simulation pour l'acquisition !

2.3.1 Calcul du surcoût dû à la simulation pour l'acquisition

Nous partons de la courbe classique, dite de Pareto, extraite de tout manuel d'acquisition de programmes ou de gestion de projet, et représentant l'évolution du cumul des coûts d'acquisition en fonction de l'étape correspondante du cycle de vie.

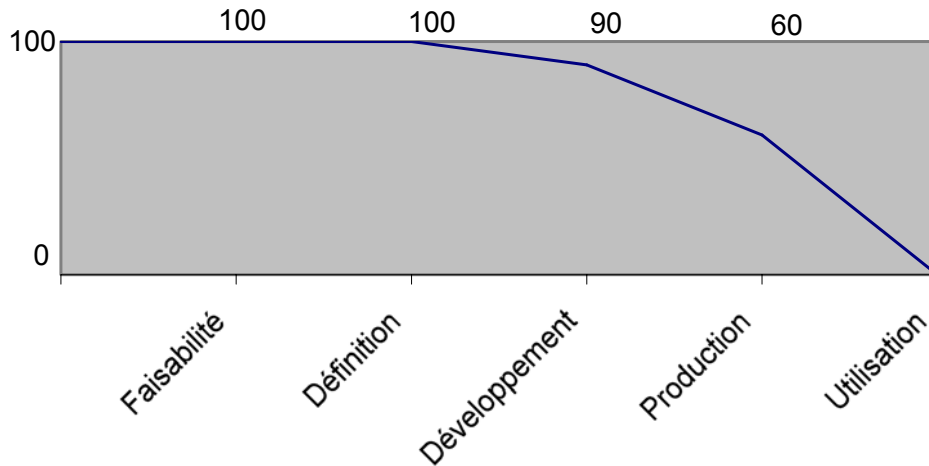


Evolution du cumul des coûts d'acquisition en pourcentage relatif du coût global d'acquisition.

Sur cette figure, les ordonnées sont données à titre indicatif et varient de quelques unités selon les sources (manuel d'instruction de conduite de programmes de la DGA, DoD aux Etats-Unis, données des groupes de travail « Software Engineering » de l'INCOSE).

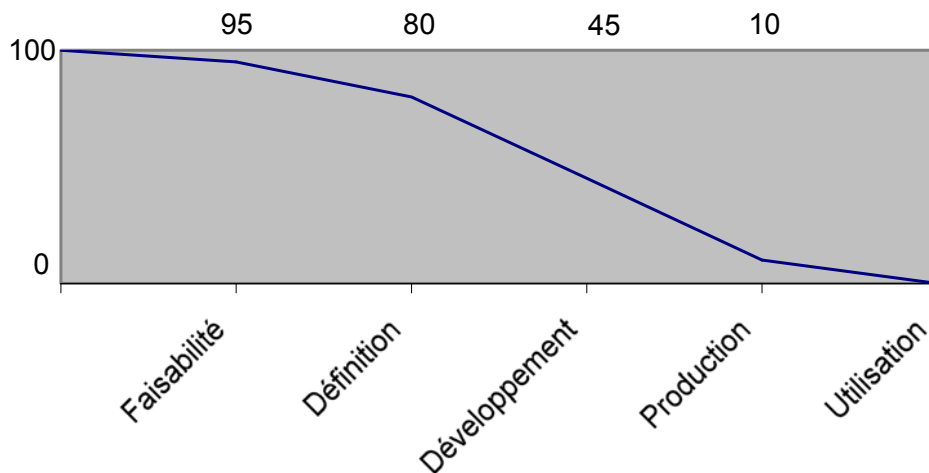
La part relative de la simulation au cours de l'acquisition est évidemment variable, selon qu'une démarche avec ou sans prototypage virtuel est adoptée, c'est-à-dire selon l'avancement de la philosophie simulation pour l'acquisition.

Dans le cas idéal d'une acquisition intégrant complètement cette philosophie, où le cycle de vie est déroulé virtuellement et successivement selon un mode en spirale avant d'aboutir au produit final, on obtient la courbe suivante tel que donnée dans le rapport du RTO group NMSG003 « M&S technology in support of SBA ».



Part relative de la simulation au cours du cycle de vie.

Dans une acquisition « traditionnelle », on observe plutôt une courbe en S du type suivant.



Part relative de la simulation au cours du cycle de vie.

Dans les deux cas, la simulation occupe une part majoritaire, voire quasi-exclusive pendant la phase de conception (faisabilité et définition). Par ailleurs, en première approximation, nous supposons le coût de la simulation indépendant de la phase du cycle de vie, et uniquement dépendant du pourcentage occupé par les activités de simulation au cours de chaque phase. Cette hypothèse néglige donc certains coûts d'intégration logicielle horizontale (c'est-à-dire sur plusieurs phases du cycle de vie), ainsi que des coûts de validation des simulations. Les premiers contribuent en effet pour un ordre inférieur. Les seconds modifient légèrement les calculs présentés ici, sans en changer les conclusions. Mais leur prise en compte explicite ne saurait se faire sans une analyse plus complète du processus d'acquisition par la simulation, avec notamment les efforts de capitalisation en termes de vérification et validation, démarche rentrant aussi dans le cadre d'une analyse multiprojet du type de ce qui est développé dans la section suivante.

On obtient alors le coût relatif de la simulation pour une acquisition « traditionnelle » par la convolution des deux courbes, respectivement d'évolution des coûts relatifs et de part relative de simulation. Pour simplifier le calcul, nous faisons une approximation par interpolation barycentrique, ce qui revient à multiplier pour chaque étape le coût moyen (relatif au coût global d'acquisition) de l'étape par la part relative moyenne occupée par la simulation au cours de cette même étape :

- Coût relatif moyen en faisabilité : $(0+5)/2 = 2,5$
- Pourcentage moyen d'utilisation de la simulation en faisabilité : $(100+95)/2 = 97,5$
- Coût relatif moyen en définition : $(5+10)/2 = 7,5$
- Pourcentage moyen d'utilisation de la simulation en définition : $(95+80)/2 = 87,5$
- Coût relatif moyen en développement : $(10+25)/2 = 17,5$
- Pourcentage moyen d'utilisation de la simulation en développement : $(80+45)/2 = 62,5$
- Coût relatif moyen en production : $(25+100)/2 = 62,5$
- Pourcentage moyen d'utilisation de la simulation en production : $(45+10)/2 = 27,5$

Coût de la simulation dans une démarche d'acquisition « traditionnelle », en pourcentage du coût global d'acquisition : $(2,5*97,5+7,5*87,5+17,5*62,5+62,5*27,5)/(100*100) = 19,6$.

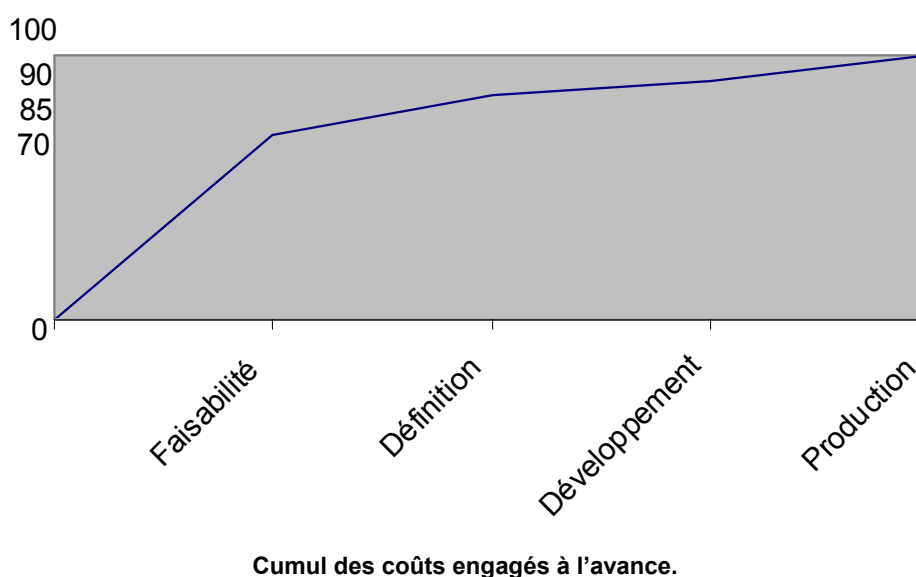
Pour une démarche de type simulation pour l'acquisition, on obtient en final : $(2,5*100+7,5*100+17,5*95+62,5*75)/(100*100) = 40,2$.

La différence de ces deux coûts donne le surcoût d'une démarche SBA.

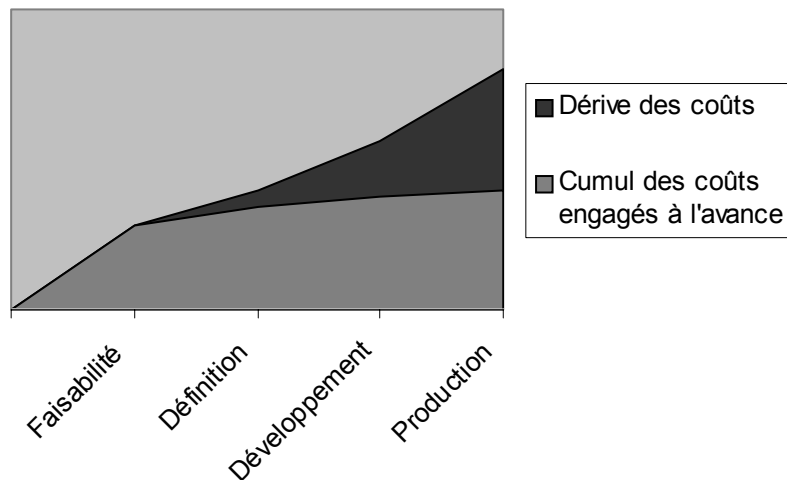
Le surcoût de la simulation pour l'acquisition peut donc être estimé à environ 20,6 % du coût global d'acquisition.

2.3.2 Surcoût engendré par un imprévu ou une erreur de planification

Nous partons de la courbe donnant les dépenses engagées à chaque instant par les décisions déjà prises. La courbe classique (avec les mêmes remarques que pour l'autre courbe de Pareto) est la suivante.



La courbe suivante définit la zone de dérive de coûts, en termes de surcoûts engagés par avance du fait d'une modification non prévue.



Une des conséquences de la simulation pour l'acquisition est de réduire les risques, en étudiant simultanément plusieurs alternatives et donc en prenant les décisions finales ultérieurement, c'est-à-dire en engageant moins tôt les coûts des phases ultérieures. Ceci a pour effet de décaler d'une part la courbe des coûts engagés par avance et a fortiori la zone de dérive des coûts vers le bas, d'autre part la zone de dérive des coûts vers la droite (en effet, une modification non prévue peut être à l'extrême intégrée dans une alternative à étudier – ce qui annule la dérive – ou plus fréquemment engendrer des surcoûts dans la mesure où des choix avaient déjà été verrouillés, mais moindres que s'il fallait revenir plus en arrière dans le cycle de vie et reprendre des portions plus importantes des étapes précédentes).

Si l'on compare alors deux trajectoires particulières, d'une part pour un système acquis « traditionnellement », d'autre part pour une acquisition intégrant pleinement la simulation, on voit alors trois gains apparaître :

- 1) des coûts engagés par avance inférieurs,
- 2) une dérive de coûts moins importante,
- 3) des coûts engagés par avance, après dérive, inférieurs.

La totalité de ces gains dépasse rapidement le surcoût de la simulation par l'acquisition calculé précédemment : avec les simples hypothèses qualitatives de ce paragraphe, on voit que c'est le cas dès que l'on aborde l'étape de développement.

En fait, ce simple calcul est même trop pénalisant pour la simulation pour l'acquisition : en effet, le surcoût calculé précédemment l'est sur toute l'acquisition du système, et il ne faudrait le calculer que sur la période jusqu'à la dérive de coûts. Et quand on regarde les calculs précédents, on voit que ce sont les étapes de fin de développement et de production qui contribuent le plus au surcoût de la simulation pour l'acquisition, donc après le moment où la simulation pour l'acquisition est déjà rentable. Une analyse rapide montre que qualitativement les gains en dérive de coûts et en coûts engagés par avance absorbent à tout instant le surcoût au même instant entraîné par un processus de simulation pour l'acquisition en comparaison d'une acquisition « traditionnelle ».

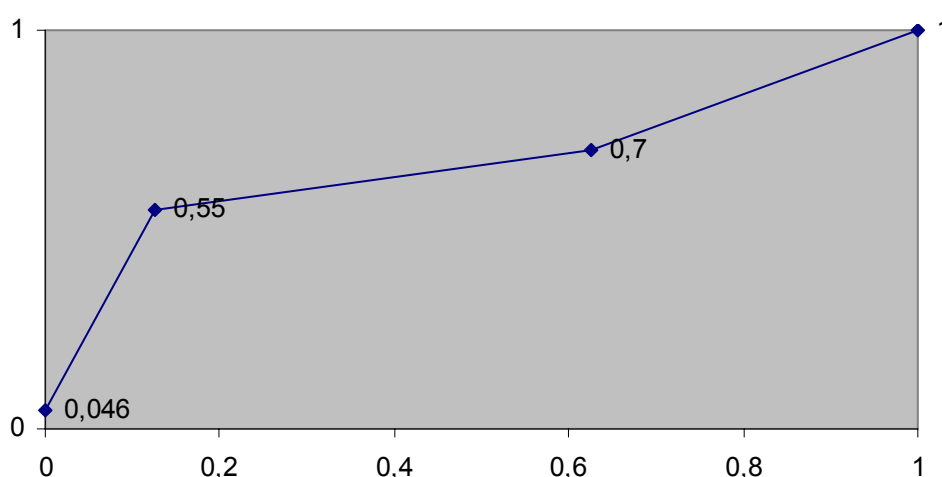
En conclusion, on vient de démontrer qu'un processus de simulation pour l'acquisition (à l'instar de la qualité) engendre un surcoût immédiatement absorbé et transformé en gain dès le premier imprévu.

2.3.3 Cas d'une acquisition multiprojet

Nous sommes cette fois dans le cas de l'acquisition d'un système de systèmes. On pourrait bien entendu refaire l'analyse précédente, et cumuler les gains, qui vont nécessairement apparaître, car la probabilité d'un risque non maîtrisé croît plus rapidement que linéairement avec plusieurs équipes d'acquisition différentes travaillant sur des systèmes décalés au niveau de leur cycle de vie, et devant ensuite être intégrés conjointement.

Cependant, nous allons faire une autre analyse économique, pour mettre en évidence les intérêts de la *réutilisation*.

Dans la mesure où les simulations font intervenir une part importante de logiciel (y compris comme logiciel plus ou moins enfoui dans des simulateurs hybrides avec du matériel dans la boucle), nous prendrons les modèles de coûts sur la réutilisation issus du monde de l'ingénierie logicielle, et en particulier le modèle COCOMO2.0 (constructive cost model), introduit dans la première version par Barry Boehm en 1981, puis étendu en 1987 et en 1995, la dernière version prenant en compte de manière détaillée les problèmes de produits sur étagère (les COTS), de réutilisation et de réingénierie logicielles. La courbe suivante, basée sur l'analyse de près de 3000 modules logiciels de la NASA menée par Richard Selby en 1988, donne le coût de réutilisation en fonction de la portion de logiciel à modifier.



On observe donc une économie importante quand la modification est inférieure à 10%, puis on peut estimer l'économie de l'ordre de 25 à 50% pour des modifications allant jusqu'aux alentours de 75%.

Dans le cadre de l'acquisition d'un programme, les simulations développées sont de plus en plus spécifiques au produit final, au fur et à mesure de l'avancée dans le cycle de vie. Typiquement, on peut estimer que les simulations sont potentiellement réutilisables en majorité pendant l'étape de faisabilité et a priori peu réutilisables pendant le développement (et a fortiori la production).

Au vu de la courbe précédente, la réutilisation offre une économie importante pendant l'étape de faisabilité, puis une économie de l'ordre de 25% pendant la définition et partie du développement.

Or, si l'on se réfère aux courbes de la section précédente sur la part relative de la simulation dans l'acquisition d'un système, celle-ci occupe quasiment toute l'étape de faisabilité, et une portion non négligeable de la définition et du début du développement, quel que soit le mode d'acquisition, « traditionnelle » ou SBA.

Pour une acquisition de système de systèmes, où plusieurs cycles de vie sont superposés, avec des décalages correspondant à l'état d'avancement de la vie de chaque système, la réutilisation permet des gains très importants sur la faisabilité des nouveaux systèmes et des gains non négligeables sur les étapes de définition.

D'une part les financements économisés peuvent être réaffectés sur les aspects d'intégration des divers systèmes (on « gagne » ainsi des étapes de faisabilité et de conception du métasystème), d'autre part on maîtrise davantage les risques (cf. analyse de la section précédente).

En conclusion, cette analyse qualitative sommaire montre que **la capacité de réutilisation prônée par la simulation pour l'acquisition de plusieurs systèmes (ayant évidemment un certain potentiel d'utilisation combinée et de cohérence d'ensemble) peut être réinvestie pour la conception du métasystème les organisant**. Un changement de méthode de travail permet donc de passer d'une somme de systèmes à un système de systèmes : on s'est ainsi donné les moyens d'atteindre l'objectif de logique capacitaire énoncé au début de l'article.

3.0 SIMULATION POUR L'ACQUISITION DE LA BOA

S'inscrivant dans la démarche générale présentée précédemment, la simulation pour l'acquisition de la BOA a pour objectif d'évaluer techniquement et opérationnellement, à l'aide de la simulation, les différentes architectures techniques susceptibles de constituer la BOA, compte tenu du besoin et des contraintes (risques techniques, coûts, délais, etc.) associés aux programmes d'armement.

À l'issue de l'ensemble des phases d'évaluation de chaque architecture, il doit être possible de choisir la meilleure architecture compte tenu de la métrique (une mesure de performance suivant des critères donnés) appliquée, et de pouvoir spécifier globalement les performances des éléments qui auront été simulés en vue de la phase de faisabilité des programmes d'armement associés.

La démarche d'acquisition est en cours, et les éléments suivants extraits du cahier des charges illustrent les grandes lignes de ce qui est attendu.

Il s'agit donc de réaliser un environnement de simulation qui permette :

- dans le cadre de la préparation d'une campagne de simulation, de définir :
 - des architectures et des SGTIA (sous-groupes tactiques interarmes : c'est la plus petite unité opérationnelle considérée ; elle ne suit pas nécessairement les compositions actuellement en vigueur, un des objectifs de la simulation étant une éventuelle révision de certaines doctrines d'emploi) représentatifs de ces architectures,
 - des théâtres d'opérations (environnement naturel, infrastructures) dans lesquels évolueront l'ensemble des acteurs de la simulation (unités du SGTIA, unités coopérant avec le SGTIA, unités ennemies, etc.),
 - des unités coopérant avec le SGTIA (y compris les autres unités au niveau GTIA ; on travaille donc simultanément avec diverses organisations de commandement),
 - des unités ennemies du SGTIA,
 - les scénarii représentant l'évolution dans le temps des différents acteurs sur le théâtre d'opérations,
 - l'ensemble des métriques qui seront utilisées pour l'évaluation technique et opérationnelles des architectures,

- de simuler, de façon éventuellement interactive, les comportements des différents acteurs compte tenu du scénario, du théâtre d'opérations, et de l'architecture choisie,
- d'exploiter les résultats des simulations afin d'évaluer les performances techniques et opérationnelles de l'architecture définie compte tenu du théâtre d'opérations choisi, des forces en présences, du scénario et des objectifs associés, etc.

Il s'agit également de créer une bibliothèque de modèles génériques (canons, détecteurs d'alerte, etc.), qui pourront être agrégés afin de constituer les systèmes (systèmes de communication, systèmes d'armes ou unités, senseurs, etc.) existants ou à venir. Cette agrégation peut faire intervenir des modèles liés aux problématiques d'intégration : la généricité des modèles permettra alors de créer et simuler une large gamme de véhicules et de systèmes. L'ensemble des agrégats de modèles et leurs interactions (internes ou externes) est appelé « concept système ».

Les forces ennemies utilisées lors des simulations sont créées par le même principe, avec une granularité et un niveau de représentation équivalente ou éventuellement moindre.

Des outils permettent la gestion des modèles (données et paramétrage) et des agrégats de la bibliothèque.

Le concept système et son architecture sont évalués dans un environnement (naturel et opérationnel) synthétique, compte tenu d'un scénario préparé à l'avance et saisi dans l'outil de préparation à la simulation. Ceci permet donc d'évaluer des organisations globales de la BOA avec des concepts systèmes EBRC variés. Il sera instructif d'évaluer l'influence des concepts systèmes sur la performance d'une architecture globale l'intégrant. *On voit immédiatement la potentialité de la simulation dans cette phase d'exploration de concepts, où l'analyse multidimensionnelle et multicritère ne saurait se satisfaire de la simple étude papier de quelques architectures cibles que l'on estimerait a priori représentatives des principales options.*

Les outils développés permettent d'évaluer les différentes architectures à partir de paramètres pertinents extraits des simulations réalisées. L'évaluation comprend aussi bien des critères d'évaluation de la capacité opérationnelle de l'architecture testée que des critères financiers, techniques, ou technologiques.

Parallèlement aux études d'ingénierie et de réalisation de l'environnement de simulation, des architectures de validation pour la BOA doivent être proposées. D'une part, elles permettent de disposer d'architectures pertinentes pour la validation de l'environnement de simulation à mesure de son développement et de vérifier tout au long du développement que l'environnement de simulation permet de simuler une grande variété d'architectures différentes. D'autre part, elles servent de support à l'élaboration des métriques qui seront utilisées pour classer les architectures lors des exploitations.

Un certain nombre d'exigences ont été formulées en termes de principes et standards à respecter :

- l'environnement de simulation (simulateur et outils) doit être conçu pour garantir une ouverture maximale (l'ouverture est la capacité à évoluer suite à une évolution des besoins et des technologies, pour le simulateur, cela comprend par exemple : la capacité d'ajout ultérieur de modèles, éventuellement par un tiers, la modification des modèles existants, l'ajout et la modification des capacités de visualisation, etc.), et pour simuler la plus large gamme d'architectures possibles pour la BOA ;
- le simulateur est conforme à la norme HLA (la certification n'est pas exigée mais le simulateur pourra néanmoins être fourni à un organisme de certification HLA) ;
- la base de données d'environnement associée au simulateur respecte le format SEDRIS.

Cette ouverture est fondamentale pour pouvoir servir de noyau à une démarche de simulation pour l'acquisition : en effet, la vie des simulateurs ne s'arrête pas dès l'évaluation et le choix d'une ou plusieurs

architectures système. Cette simulation est une étape de base pour les phases de conception des systèmes d'armes à venir qui vont s'intégrer au sein de la BOA. Afin de faciliter cette réutilisation, il a été fait le choix d'imposer un certain nombre de standards actuels, dont une certaine pérennité (et a priori une compatibilité ascendante en cas de changement majeur de format) semble garantie sur les années à venir.

Par ailleurs, dans le cas du lancement d'un développement international, grâce à l'ouverture du système (et aux exigences de sécurité sur la confidentialité de l'accès aux données et modèles en cours de simulation), il sera possible d'évaluer des concepts systèmes et/ou des architectures avec des choix de modèles de systèmes étrangers. Chaque partenaire sera donc en mesure d'évaluer un éventuel concept commun au sein de son propre métasystème.

Le simulateur et les outils associés (environnement de simulation) seront déployés sur plusieurs sites géographiques, maintenus en condition opérationnelle et gérés en configuration. Après déploiement du simulateur, il y aura une première phase d'utilisation avec des propositions d'architectures fournies par l'administration au titulaire maître d'œuvre. Durant cette phase le titulaire proposera et mettra en œuvre des métriques pertinentes afin de classer les différentes architectures qu'il aura évaluées. La phase de maintien en condition opérationnelle suivra, l'utilisation et la mise en œuvre étant alors effectuées par l'État.

Cette répartition des responsabilités est essentielle dans la mesure où la démarche de simulation par l'acquisition est cruciale pour les phases de préparation de systèmes d'armes à venir, et afin de garantir des mises en concurrence ultérieures non biaisées, une maîtrise de l'outil d'analyse et d'évaluation de concepts est nécessaire.

4.0 CONCLUSION

Le souci de définir l'outil de défense de demain en termes capacitaires oblige donc à faire évoluer les méthodes d'ingénierie des systèmes et à être capable de proposer aux architectes, à tous les niveaux, des outils de modélisation et de simulation adaptés pour l'aide à l'analyse, à la conception, à la réalisation, à l'évaluation, voire à la gestion de configurations et à l'entraînement des systèmes de défense du futur. La cible idéale serait une communauté d'outils, de méthodes et de normes entre les différentes parties prenantes : États-Majors, DGA, industrie.

La maîtrise de l'outil général de modélisation et de simulation constitue un élément essentiel pour peser sur les choix en matière de systèmes de défense dans des cadres d'acquisition ou de mise en œuvre internationale (OCCAR, OTAN...).

Un des objectifs de cet article a été de donner une justification économique à ces nouveaux modes d'acquisition fondés sur une utilisation de la simulation de manière complètement intégrée sur l'ensemble du cycle de vie du système.

Les analyses économiques faites dans cet article doivent évidemment être raffinées, en reprenant les différentes approximations (non-linéarités, convolution des coûts et ratios d'utilisation de la simulation), en introduisant par ailleurs des modèles de coûts non constants par étape du cycle de vie (des courbes en cloche semblent pertinentes, d'après des retours d'expérience en aéronautique) conduisant alors à des courbes cumulatives de coûts qui ne seront plus linéaires par morceaux, en introduisant explicitement les coûts d'intégration (horizontale, et verticale, c'est-à-dire systèmes de rang inférieur) et de réutilisation.

En tout état de cause, la démarche de simulation pour l'acquisition est actuellement déroulée pour la capacité de combat aéroterrestre, et les divers programmes concernés à venir. L'avenir dira si elle a tenu les promesses, et le retour d'expérience devrait être instructif en termes de méthodes d'acquisition de programmes d'armement.

Page intentionnellement blanche

This page has been deliberately left blank



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

Simulation-Based Acquisition of the Future Air-Land Combat System

*ICA Dominique Luzeaux, Prof.
IPA Patrick Lodéon*



Outline of presentation

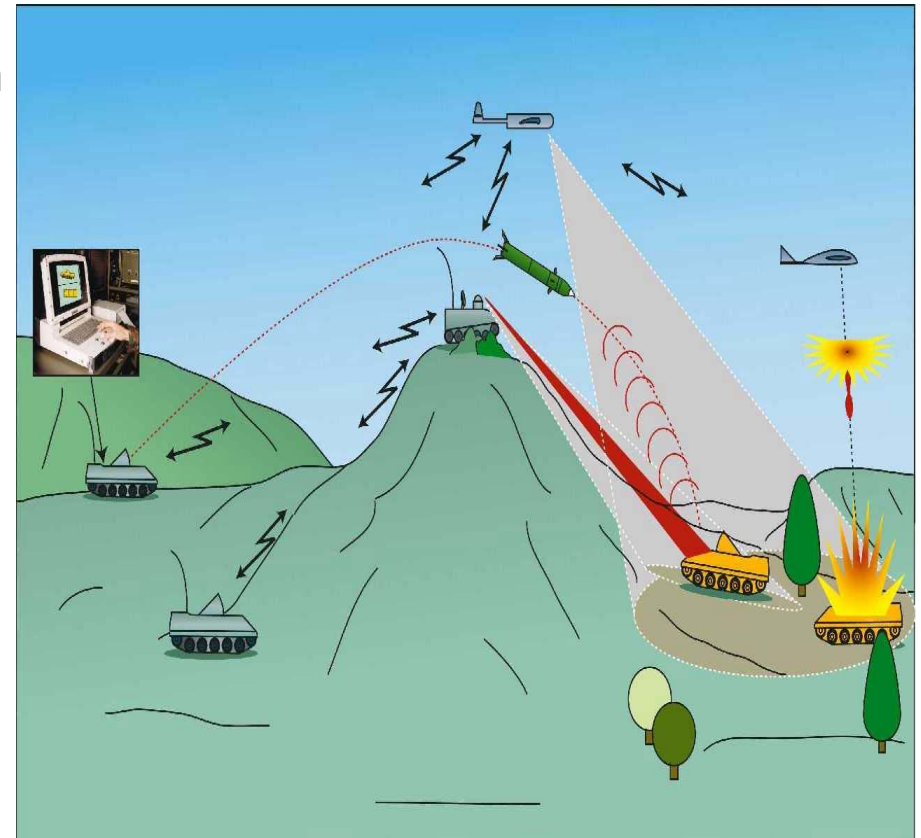
- Evolution of the acquisition context.
- Overview of the Future Air-Land Combat System (Fr. BOA).
- SBA approach and cost-effectiveness.
- Application to the BOA.

Evolution of the acquisition context

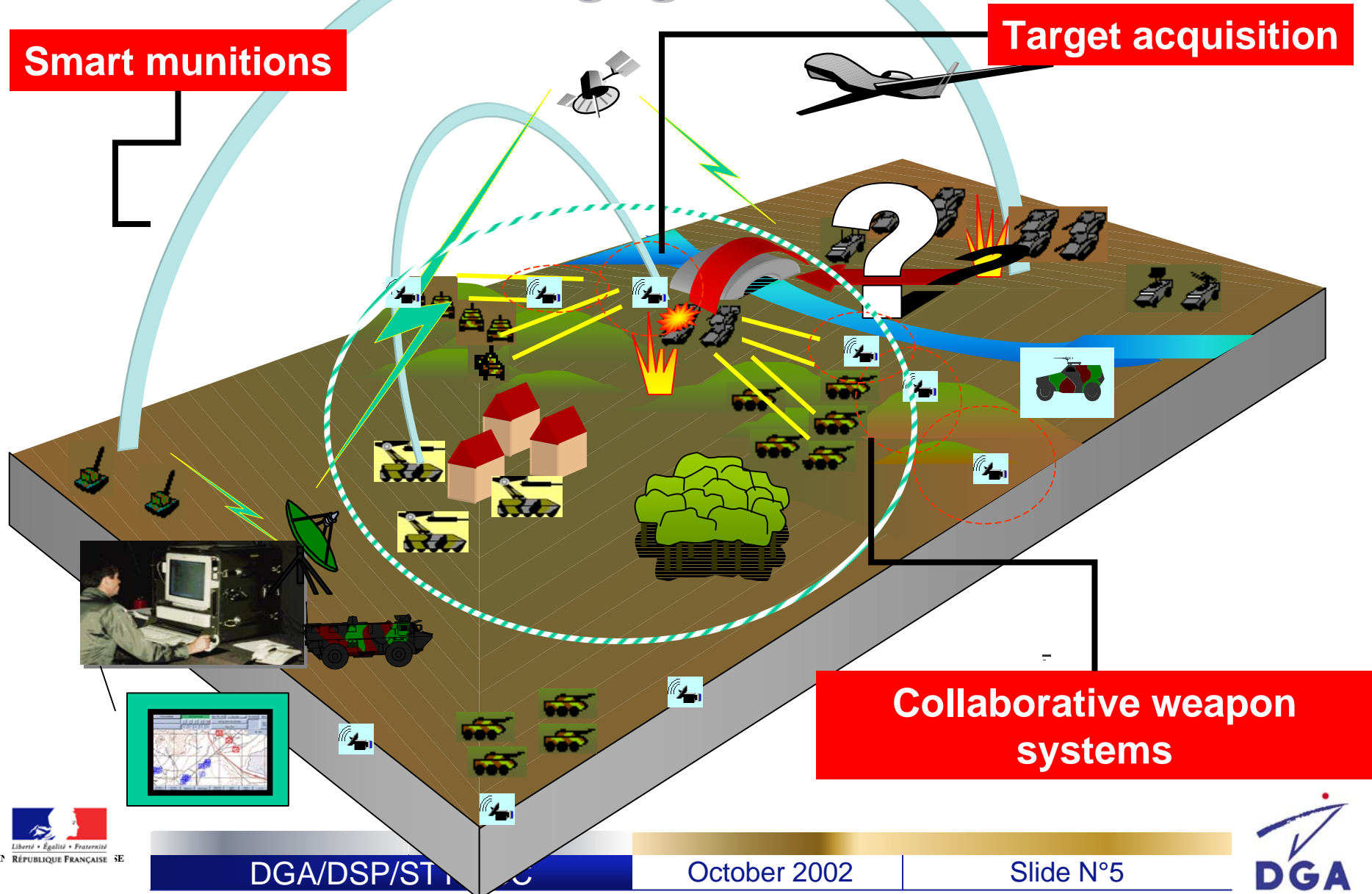
- Decreasing budgets.
- New format of Army.
 - ⇒ **Global capacities** instead of individual weapon systems.
 - ⇒ **Systems of systems.**
 - ⇒ Focus on concept exploration vs technology R&D.
 - ⇒ **New acquisition methods and tools needed.**

Future Air-Land Combat System

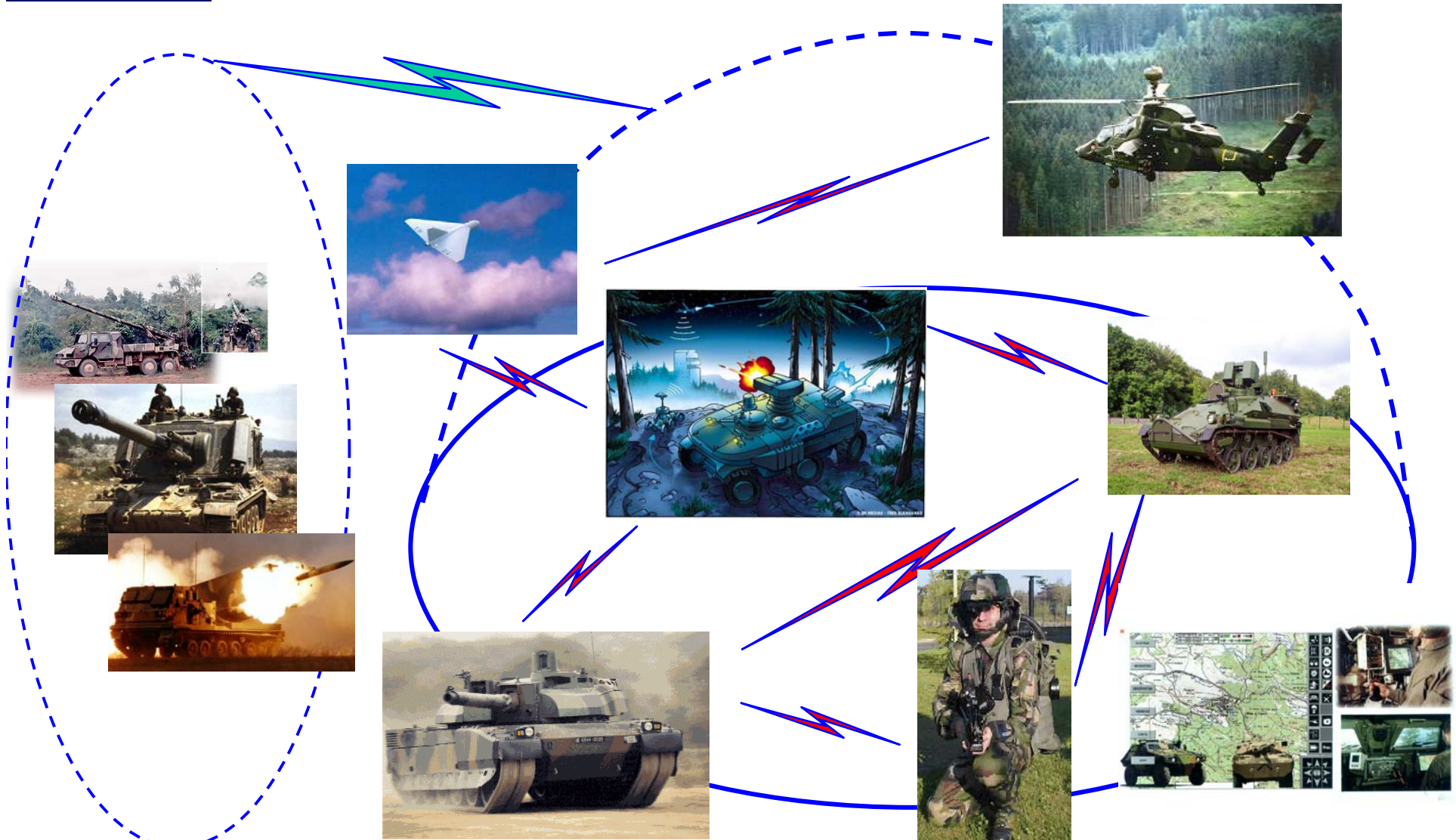
- Engage the opponent as early as possible (LOS and NLOS detection and attack).
- Highly protected and easily transportable vehicles.
- “3-layer” protection (collaborative detection+collaborative countermeasures+enhanced protection).
- Non-lethal weapons + increased automation (UAVs, UGVs, UGS...).
- Network-centric warfare.



Battlefield engagement



A system of systems view



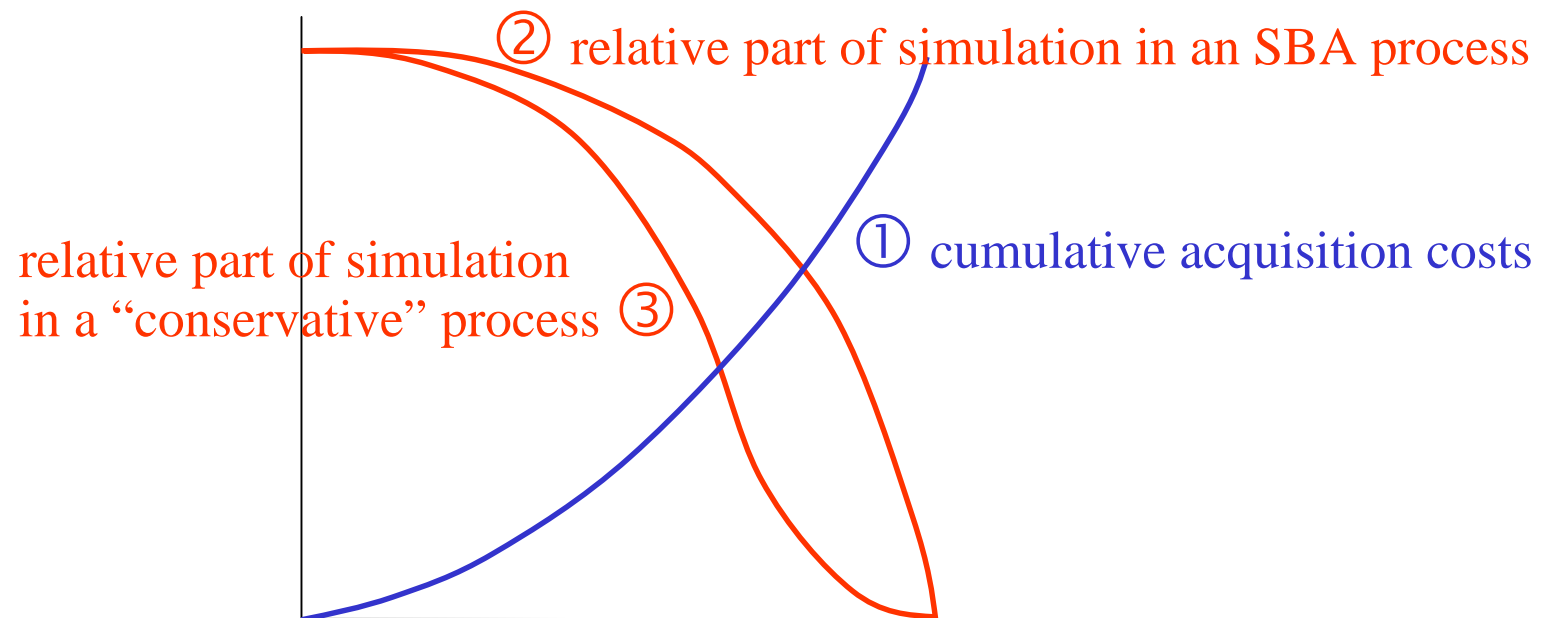
Multi-project acquisition

- *Upgrade* of in-service systems (MBTs, Helos...).
 - Programs in *design* phase.
 - Programs in *concept exploration* phase.
 - Programs to be *launched*.
-
- **Vertical** (components, subsystems, systems, systems of systems) + **horizontal integration** (through life-cycle) **issues**.

SBA

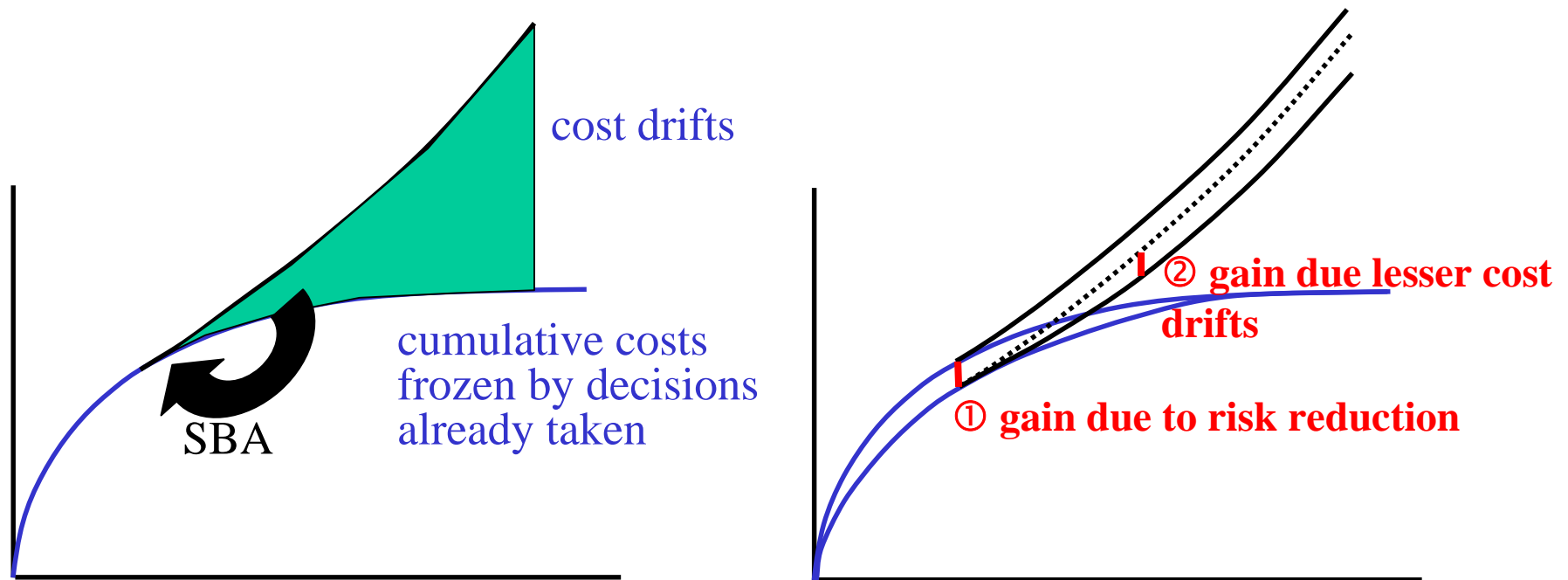
- Use of simulation within all phases of the program.
- Shared tools (data and model repository) within the IPPT.
- Intensive reuse (within and between programs):
 - ⇒ multi-project acquisition for systems of systems.
- Potential payback:
 - risk reduction,
 - cost effectiveness.
- Technological issues:
 - interoperability,
 - integration of the various simulations.

Cost-effectiveness of SBA (1/2)



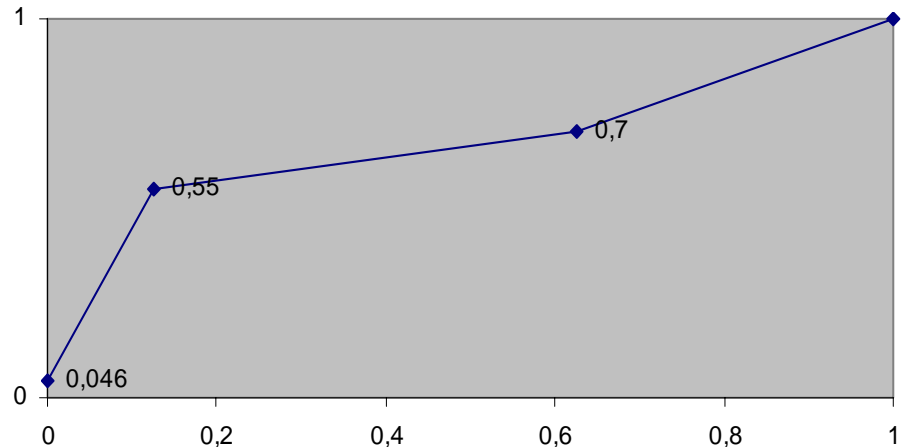
**Using standard cost estimates for program managers:
cost overhead of SBA \approx 21% of global acquisition cost.**

Cost-effectiveness of SBA (2/2)



An SBA process generates a cost overhead which is immediately cancelled and turned into a gain as soon as unforeseen events arise.

Multi-project acquisition



Reuse cost in software engineering (source INCOSE)
≈ 25-50% savings for modifications up to 75%.

An SBA process with reusability correctly implemented (beware intellectual property rights and use of non still-born standards!) **implies non negligible savings (around 25% of all acquisition costs) during concept exploration, design and part of development phases:**

⇒ **savings due to smart reuse can be reinvested in design of the system of systems.**

SBA for the BOA

- System of system view: address **interoperability** and **communication** between *detection systems, decision centers and weapons systems*.
- The contracted simulation (FY2002, due mid-2004) will analyze **individually** and **globally**:
 - **performance of the various functions,**
 - **weapon engagement procedures,**
 - **various network-centric configurations,**
 - **technical evaluation of hardware components, procedures, communications.**
- One of the objectives is to determine the **overall cost of the capability** (accessibility cost of the technologies, acquisition and possession cost of the system, cost of upgrades) ... **at least for different admissible configurations.**

Concluding remarks

- SBA: a promising approach.
- Future Air-Land Combat System:
 - the first system of systems starting from scratch (not merely an ad-hoc new vision);
 - a test-bed for new acquisition techniques.
- Experimental data needed to confirm qualitative economical analysis.